

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů



Dětský kolotoč s elektropohonem

Child Carousal with an Electric Drive

Student:

Lukáš Mališ

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.

Ostrava 2010

ZADÁNÍ

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě :.....

.....

Podpis studenta

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Podpis

Lukáš Mališ

Na Závodí 66, Sviadnov

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MALIŠ, L. *Dětský kolotoč s elektropohonem: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2010, 40 s. Vedoucí práce: Pišťáček, D.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem a výpočtem nosné konstrukce a pohonné jednotky dětského kolotoče s elektropohonem pro děti do 10ti let. V úvodu je uvedena definice kolotoče, dále průzkum trhu se souhrnem variant kolotočů. Je proveden návrh možných konstrukčních řešení kolotoče a volba nejvhodnější varianty. U zvolené varianty je proveden výpočet a kontrola stěžejních částí konstrukce a pohonné jednotky.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MALIŠ, L. *Child Carousal with an Electric Drive: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2010, 40 p. Thesis head: Pišťáček, D.

Bachelor thesis deals with structural design and supporting structure and drive unit calculation of electric motor driven carousal for children under 10 years. The introductory chapter of the thesis contains the definition of carousal and subsequent market analysis with the list of product (carousal) variants. Afterwards, a proposal of carousal possible structural designs is made and the most suitable variant is selected. As for the selected variant, a calculation and key parts structure and drive unit control are implemented.

OBSAH

1	Úvod	11
2	Průzkum trhu	12
3	Koncepty konstrukčního řešení kolotoče	14
3.1	Návrh konstrukce řetízkového kolotoče – typ 1	14
3.2	Návrh konstrukce řetízkového kolotoče – typ 2	15
3.3	Návrh konstrukce sedačkového kolotoče	15
3.4	Návrh konstrukce podlážkového kolotoče	16
3.5	Požadavky na ergonomii	17
4	Návrh a výpočet zvolené konstrukce kolotoče	18
4.1	Výpočet sil působících na ramena kolotoče a návrh ramen	18
4.2	Výpočet sil působících na sloup kolotoče a návrh sloupu	23
4.3	Kontrola stěžejních svarů konstrukce	28
4.4	Návrh čepů	31
4.5	Návrh řetězu	31
5	Návrh pohonu a otočné části kolotoče	32
5.1	Určení rozběhového momentu a volba elektromotoru	32
5.2	Návrh a výpočet řemenového převodu	32
5.3	Skutečné poměry na hnané hřídeli	34
5.4	Výpočet trvanlivost ložisek	35
6	Závěr	38
7	Seznam použité literatury	39
8	Seznam příloh	40

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

A	(m)	délkový rozměr
A_{II}	(mm ²)	navrhovaná plocha průřezu prutu II
A_{max}	(mm)	osová vzdálenost pro napínání řemene
A_{min}	(mm)	osová vzdálenost pro nasazení řemene
A_{sk}	(mm)	skutečná osová vzdálenost
A_1	(mm ²)	plocha průřezu
A'	(mm)	navrhovaná osová vzdálenost
B	(m)	délkový rozměr
C	(m)	délkový rozměr
C_K	(-)	součinitel přihlížející k počtu řemenů
C_L	(-)	součinitel vlivu délky řemene
C_P	(-)	součinitel dynamičnosti pracovního režimu
C_0	(kN)	statická únosnost ložiska
C_1	(kN)	dynamická únosnost ložiska
C_α	(-)	součinitel vlivu úhlu opásání
D	(m)	délkový rozměr
D_1	(mm)	průměr hnací řemenice
D_2	(mm)	průměr hnané řemenice
E	(MPa)	modul pružnosti v tahu
F	(N)	obvodová síla na hnané řemenici
$F_{\check{c}}$	(N)	síla působící na čep
F_g	(N)	tíhová síla
F_k	(N)	osová síla ve šroubu
F_{kr}	(N)	kritická síla
F_N	(N)	síla zachycující posouvající síly třením
F_n	(N)	napínací síla
F_o	(N)	předepínací síla
F_o'	(N)	celková osová síla ve šroubu
F_s	(N)	síla namáhající svar
F_T	(N)	tíhová síla působící na sloup
F_v	(N)	dostředivá síla
F_z	(N)	tahová síla
F_{zp}	(N)	tahová síla prázdné sedačky
F_{zr}	(N)	tahová síla v jednom řetězu
H	(mm)	vzdálenost síly F_z od základu
I_c	(kg·m ²)	moment setrvačnosti
J	(mm ⁴)	kvadratický moment
K	(-)	počet řemenů

L	(m)	délka sloupu
L'	(mm)	rozteč šroubů
L_p	(mm)	délka řemenu
L_{red}	(m)	redukovaná délka
L_s	(mm)	délka svaru
L_{10}	(mil.ot.)	základní trvanlivost ložiska v milionech otáček
L_{10mn}	(mil.ot.)	základní trvanlivost ložiska v milionech otáček dle SKF
L_{10h}	(hod)	základní trvanlivost ložiska v hodinách
L_{10hmn}	(hod)	základní trvanlivost ložiska v hodinách dle SKF
M_{Oc}	(Nm)	výsledný ohybový moment
M_O	(Nm)	dílčí ohybový moment
M_R	(Nm)	rozběhový moment
N_P	(kN)	skutečný výkon přenášený jedním řemenem
N_0	(kN)	ideální jmenovitý výkon na jeden řemen
P	(N)	ekvivalentní zatížení ložiska
P'	(mm)	hrubá rozteč závitu
P_U	(kN)	mezní únavové zatížení ložiska
P_1	(kW)	vstupní výkon elektromotoru s převodovkou
R_A	(N)	výsledná reakce v podpoře A
R_B	(N)	výsledná reakce v podpoře B
R_e	(MPa)	mez kluzu v tahu
R_m	(MPa)	mez pevnosti v tahu
$R_{A1,2}$	(N)	reakce v podpoře A
$R_{B1,2}$	(N)	reakce v podpoře B
S_I	(N)	síla v prutu I
S_{II}	(N)	síla v prutu II
T_{sk}	(Nm)	Skutečný točivý moment na hnané hřídeli
T_2	(Nm)	výstupní moment elektromotoru s převodovkou
a	(mm)	nosný průřez svaru
a_{SKF}	(-)	součinitel teorie trvanlivosti dle SKF
a_1	(-)	součinitel spolehlivosti dle SKF
b	(mm)	délkový rozměr
c	(mm)	délkový rozměr
d	(mm)	průměr nebezpečného průřezu nehybného hřídele
d_ξ	(mm)	průměr čepu
d_I	(mm)	průměr prutu I
d_0	(mm)	průměr nehybného hřídele v místě svaru
d_2	(mm)	střední průměr závitu
d_3	(mm)	malý průměr závitu

e	(m)	délkový rozměr
f	(-)	součinitel tření mezi ložiskem a základem
f_k	(-)	tření v klínové drážce
f_z	(-)	součinitel tření na závitu
g	(m/s ²)	gravitační zrychlení
h	(mm)	vzdálenost středu díry od svaru
i	(-)	převodový poměr
i_{\min}	(mm)	minimální poloměr štíhlosti
i_{sk}	(-)	skutečný převodový poměr
k	(-)	bezpečnost proti prokluzu
k_t	(-)	bezpečnost třecí vazby
k_s	(-)	bezpečnost konstrukce
k_s'	(-)	součinitel statické bezpečnosti jádra závitu šroubu
k_{s1}	(-)	bezpečnost svarů
$k_{3,4}$	(-)	převodní součinitelé dle ČSN 05 0120
l	(m)	délka závěsu
l_s	(mm)	délka součásti
l_{1-5}	(m)	délkové rozměry
m	(kg)	hmotnost elektromotoru s převodovkou
$m_{dítě}$	(kg)	hmotnost dítěte
m_k	(kg)	hmotnost konstrukce
n	(-)	koefficient uložení prutu
n_1	(ot/min)	vstupní otáčky elektromotoru s převodovkou
n_2	(ot/min)	výstupní otáčky elektromotoru s převodovkou
n_3	(ot/min)	otáčky kolotoče
p	(-)	exponent trvanlivosti ložiska
p_D	(MPa)	dovolený tlak
r	(m)	vzdálenost sedadla od středu kolotoče
r_0	(m)	poloměr vyložení kolotoče
s	(-)	skluz
t	(mm)	tloušťka stěny
v_1	(m/s)	obvodová rychlost
x	(m)	velikost vychýlení kolotoče
α	(°)	úhel opásání hnací řemenice
α'	(°)	úhel profilu závitu
α_1	(°)	úhel rozpětí prutu I
α_2	(°)	úhel rozpětí prutu II
β	(°)	úhel vychýlení sedačky od svislé roviny kolotoče
β_s	(mm)	součinitel tloušťky koutového svaru

γ	(°)	doplňkový úhel
δ	(°)	úhel opásání hnané řemenice
ε	(rad/s ²)	úhlové zrychlení
η	(-)	účinnost řemenového převodu
λ_m	(-)	mezní štíhlost
λ_{sk}	(-)	skutečná mezní štíhlost
σ_{oD}	(MPa)	dovolené napětí v ohybu
σ_t	(MPa)	namáhání v tahu
σ_{tD}	(MPa)	dovolené napětí v tahu/tlaku
σ_{red}	(MPa)	redukované napětí
σ_u	(MPa)	napětí na mezi úměrnosti
τ_k	(MPa)	namáhání v krutu
$\tau_{\perp, }$	(MPa)	smyková napětí
φ'	(°)	třecí redukovaný úhel
ψ	(°)	úhel stoupání závitu
ω	(rad/s)	úhlová rychlost
Δi	(%)	tolerance převodového poměru

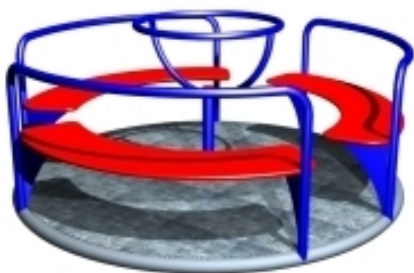
1 ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je návrh dětského kolotoče s elektropohonem. S kolotoči se člověk setkává dnes a denně při různých veřejných, či soukromých akcích, například na známé Matějské pouti pořádané každoročně v Praze. Existují také lunaparky, kde je přístup na zábavní atrakce umožněn celoročně, popřípadě v třísezónním provozu.

Co je tedy vlastně kolotoč? „Kolotoč je atrakce na principu otáčející se kruhové plošiny, která má po obvodu upevněná místa k sezení. Těmi mohou být jednoduché kusy dřeva s držátky u malých kolotočů na dětských hřištích, napodobeniny zvířat (často jezdeckých) či věcí u větších kolotočů nebo na několikametrových řetězech zavěšená křesílka u řetízkových kolotočů.“ (10)

2 PRŮZKUM TRHU

Zábavní průmysl disponuje velkým množstvím kolotočů od jednoduchých bezpohonných kolotočů (obr. 2.1) určených pro dětská hřiště přes kolotoče s jednoduchým elektropohonem (obr. 2.2) až po atrakce využívající hydraulických zařízení a nejmodernější řídicí elektroniky (obr. 2.3).



Obr. 2.1 - Kolotoč bez pohonu (13)

Tento typ kolotoče je používán výhradně na dětských hřištích, jeho konstrukce je pevně zabudována do země. Je určen pro děti ve věku 2 – 10 let. Na tento typ kolotočů se vztahuje norma ČSN EN 1176 - 5: Další specifické bezpečnostní požadavky a zkušební metody pro kolotoče. Tato norma stanovuje další bezpečnostní požadavky pro kolotoče o průměru větším než 0,5 m, určené pro stálou instalaci a k užívání dětmi jako zařízení hřišť pro děti.



Obr. 2.2 - Kolotoč s elektropohonem (14)

Kolotoč tohoto typu je možno využívat jak ve stálých prostorách lunaparku, tak i na soukromých či veřejných akcích. Jeho převoz umožňuje rozebíratelná konstrukce. Některé kolotoče mají základnu připevněnou na „vozík“, což usnadňuje převoz. Pohon kolotoče je zajištěn elektromotorem přes zpravidla mechanický převod. Na tento typ kolotočů se vztahuje norma ČSN EN 13814 - Prostředky lidové zábavy pro slavnosti. Tento dokument stanovuje minimální požadavky nezbytné pro zajištění bezpečného návrhu, výpočtu, výroby, instalace, údržby, provozu, prohlídek a zkoušek mobilních, přechodně nebo trvale instalovaných prostředků lidové zábavy a staveb.

Kolotoč tohoto typu je možno využívat jak ve stálých prostorách lunaparku, tak i na soukromých či veřejných akcích. Jeho převoz umožňuje rozebíratelná konstrukce. Některé kolotoče mají základnu připevněnou na „vozík“, což usnadňuje převoz. Pohon kolotoče je zajištěn elektromotorem přes zpravidla mechanický převod. Na tento typ kolotočů se vztahuje



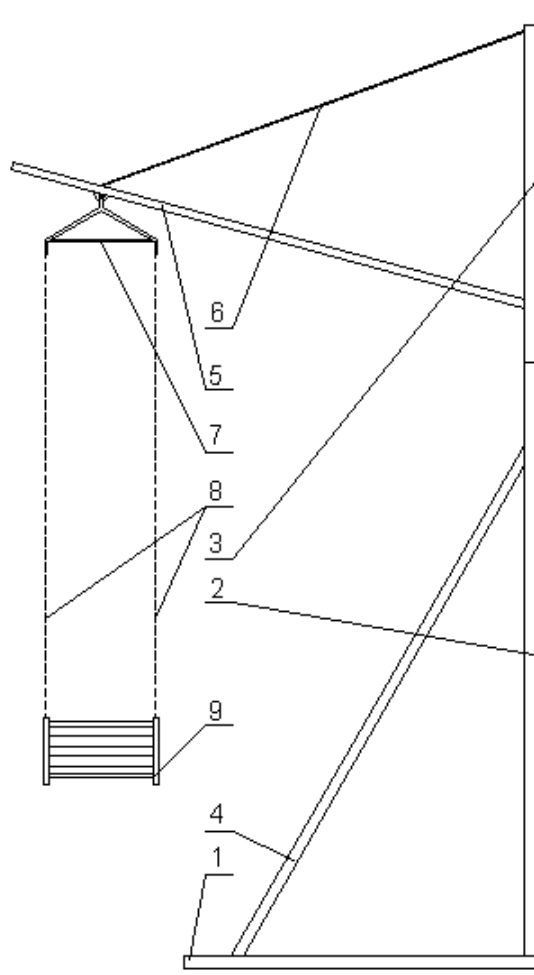
Obr. 2.3 - Centrifuga – kolotoč (15)

Typ tohoto kolotoče je opět určen pro použití ve stálých prostorách lunaparku, tak i na soukromých či veřejných akcích. Jeho převoz umožňuje rozebíratelná konstrukce. Pohon kolotoče je zajištěn prostřednictvím elektromotoru. Jiný pohyb než točivý je zajištěn pomocí hydraulických zařízení. Vše je řízeno nejmodernější elektronikou. Na tento typ kolotočů se vztahuje norma ČSN EN 13814 - Prostředky lidové zábavy pro slavnosti.

3 KONCEPTY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ KOLOTOČE

V této kapitole jsou uvedeny 4 příklady konstrukčního řešení dětského kolotoče s elektropohonem. 2 návrhy se týkají řetízkového kolotoče, jeden sedačkového kolotoče a jeden podlázkového kolotoče. U všech typů konstrukce není záměrně vykreslena pohonná jednotka a detaily uložení jednotlivých částí kolotoče (jedná se pouze o hrubý návrh konstrukce). Návrh pohonné jednotky a uložení jednotlivých částí je řešen v následujících kapitolách této práce.

3.1 NÁVRH KONSTRUKCE ŘETÍZKOVÉHO KOLOTOČE – TYP 1



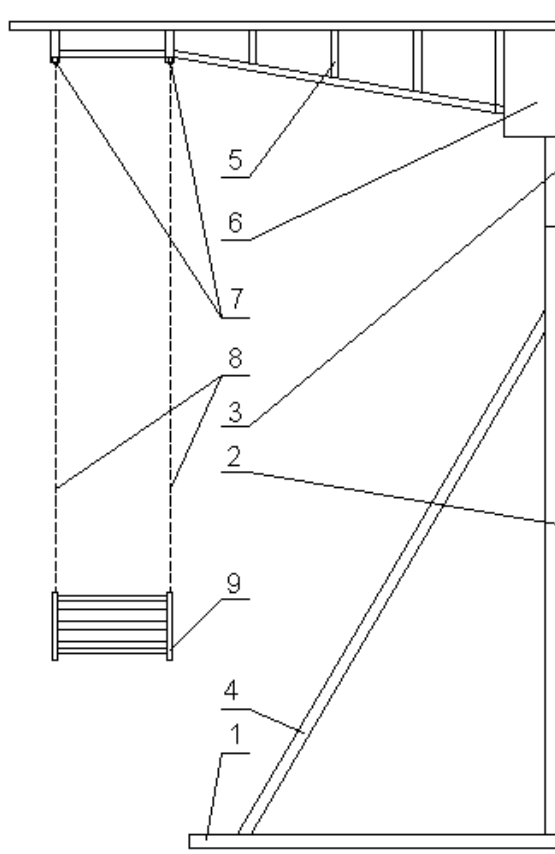
3.1 - Konstrukce řetízkového kolotoče - typ 1

Jedná se o jednoduchý typ konstrukce, kdy jednotlivé části mohou být svařovány, popř. montovány. V tomto případě bych volil montovanou konstrukci z důvodu rozebíratelnosti pro jednoduchý převoz kolotoče. Stabilita kolotoče je zajištěna pomocí podpor (4, 6).

Popis konstrukce kolotoče:

1. Základna
2. Nosný sloup – pevná část
3. Nosný sloup – otočná část
4. Podpora pevné části nosného sloupu
5. Nosná část vyložení kolotoče
6. Podpora vyložení
7. Závěsná část
8. Řetězy
9. Sedačka

3.2 NÁVRH KONSTRUKCE ŘETÍZKOVÉHO KOLOTOČE – TYP 2



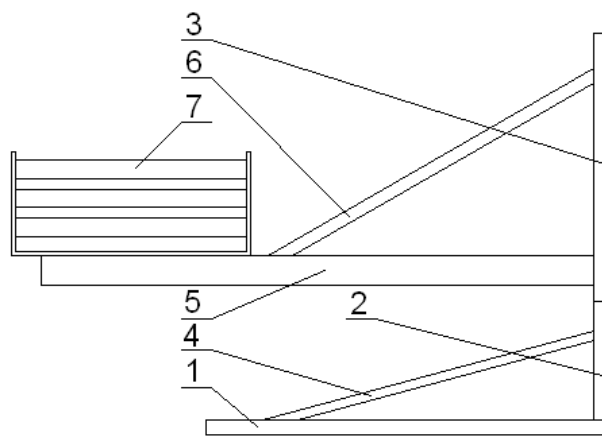
3.2 - Konstrukce řetízkového kolotoče - typ 2

Jedná se o jednoduchý typ konstrukce, kdy jednotlivé části mohou být svařovány, popř. montovány. V tomto případě bych volil svařovanou konstrukci z důvodu vyšší únosnosti (příhradová konstrukce). Pohon by bylo možno umístit v bubnu (6), na němž je uchycena nosná část vyložení kolotoče (5). Stabilita kolotoče je zajištěna pomocí podpor (4).

Popis konstrukce kolotoče:

1. Základna
2. Nosný sloup – pevná část
3. Nosný sloup – otočná část
4. Podpora pevné části nosného sloupu
5. Nosná část vyložení kolotoče
6. Buben
7. Závěsná část
8. Řetězy
9. Sedačka

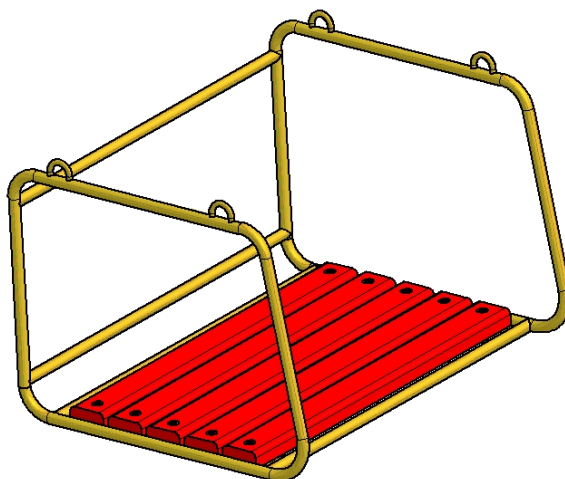
3.3 NÁVRH KONSTRUKCE SEDAČKOVÉHO KOLOTOČE



3.3 - Konstrukce sedačkového kolotoče

3.5 POŽADAVKY NA ERGONOMII

Požadavky na ergonomii sedadla jsou vcelku nízké, neboť doba sezení dítěte na sedačce kolotoče bude dle provozu cca 3-5 minut. Sedadlo je dostatečně pevné a stabilní, není třeba brát v úvahu nároky na střídání poloh při sezení. Sedací plocha je zhotovena z dřevěných latí, aby se při sezení rychleji zahřála a aby nedocházelo k nepříjemnému pocitu chladu. Rozměry sedadla jsou uzpůsobeny předpokládané velikosti dětí do 10ti let.



Obr. 3.1 - Návrh sedadla

4 NÁVRH A VÝPOČET ZVOLENÉ KONSTRUKCE KOLOTOČE

V této práci „Dětský kolotoč s elektropohonem“ jsem se rozhodl pro řešení kolotoče řetízkového dle obr. 3.1 a to z důvodu, že se jedná o nejjednodušší uspořádání konstrukčních prvků a je i nejméně ekonomicky nákladný.

4.1 VÝPOČET SIL PŮSOBÍCÍCH NA RAMENA KOLOTOČE A NÁVRH RAMEN



Obr. 4.1 – Polohy sedadla: A) za klidu, B) za pohybu

Za klidu dle obr. 4.1 A) působí na sedačku pouze tíhová síla od hmotnosti dítěte. Síla v závěsu (řetězu) se pak rovná tíhové síle.

$$F_z = F_g \quad (4.1)$$

$$F_g = m_{\text{dítě}} \cdot g \quad (4.2)$$

Z rovnic (4.1, 4.2) plyne pro tíhovou sílu:

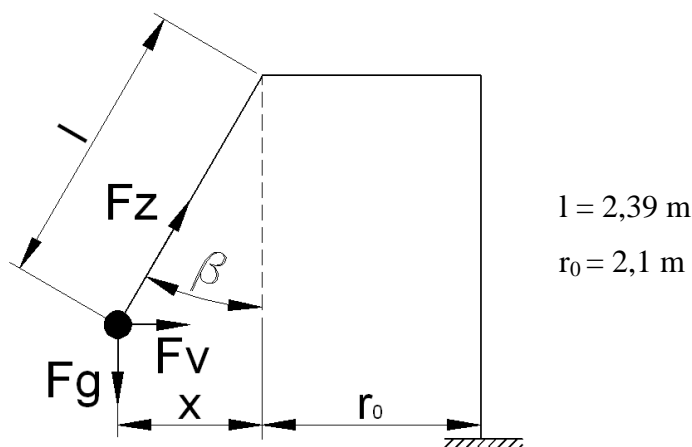
$$F_z = m_{\text{dítě}} \cdot g = 60 \cdot 9,81 = 588,6 \text{ N}$$

Hmotnost dítěte jsem zjistil dle (Příloha C). Pro výpočet volím hmotnost dítěte $m_{\text{dítě}} = 60 \text{ kg}$.

Za pohybu dle obr. 4.1 B) působí na sedačku síla, která jej vychýlí ze svislé polohy o určitý úhel. Je to výslednice tíhové síly a síly v závěsu, nazývá se silou dostředivou.

Z rovnováhy sil plyne:

$$\vec{0} = \vec{F}_g + \vec{F}_z + \vec{F}_v \quad (4.3)$$



Obr. 4.2 – Silové poměry a délkové rozměry

$$F_v = m_{\text{dítě}} \cdot \omega^2 \cdot r \quad (4.4)$$

$$\sin \beta = \frac{x}{l} \quad (4.5)$$

$$r = r_0 + x \quad (4.6)$$

Pro výpočet výsledné tahové síly v závěsu jsem se rozhodl volit úhel vychýlení sedačky od svislé roviny kolotoče $\beta = 30^\circ$. Pro tuto hodnotu bude navrhována nosná konstrukce kolotoče. Provoz bude probíhat při $\beta = 20^\circ$. Tyto hodnoty jsem zjistil pozorováním dětských kolotočů z fotografií a následným odměřením úhlu v programu AutoCAD 2007 po vložení daných fotografií do prostředí programu (hodnoty se pohybovaly v rozmezí $18^\circ - 25^\circ$).

Po úpravě rovnice (4.3) pro rovnováhu sil:

$$0 = F_z \cdot \cos \beta - F_g \quad (4.7)$$

$$0 = F_z \cdot \sin \beta + F_v \quad (4.8)$$

Po úpravě rovnic (4.2, 4.7) plyne pro tahovou sílu:

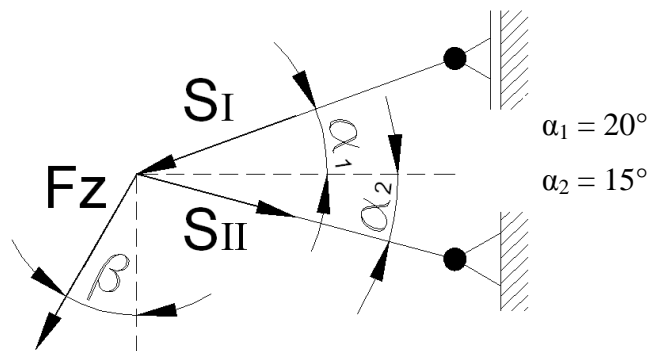
$$F_z = \frac{m_{\text{dítě}} \cdot g}{\cos \beta} = \frac{60 \cdot 9,81}{\cos 30} = 679,7 \text{ N}$$

Pro výslednou úhlovou rychlost pro daný úhel β plyne z rovnic (4.4-4.6, 4.8):

$$|\omega| = \sqrt{\frac{F_z \cdot \sin \beta}{m_{\text{dítě}} \cdot (r_0 + \sin \beta \cdot l)}} = \sqrt{\frac{679,7 \cdot \sin 30}{60 \cdot (2,1 + \sin 30 \cdot 2,39)}} = 1,3 \text{ rad/s}$$

Z rovnice (4.4) pro dostředivou sílu:

$$F_v = m_{\text{dítě}} \cdot \omega^2 \cdot r = m_{\text{dítě}} \cdot \omega^2 \cdot (r_0 + \sin \beta \cdot l) = 60 \cdot 1,3^2 \cdot (2,1 + \sin 30 \cdot 2,39) = 339,8 \text{ N}$$



Obr. 4.3 – Silové poměry v ramenech

Z rovnováhy sil plyne:

$$0 = -F_z \cdot \cos\beta + S_I \cdot \sin\alpha_1 - S_{II} \cdot \sin\alpha_2 \quad (4.9)$$

$$0 = F_z \cdot \sin\beta - S_I \cdot \cos\alpha_1 - S_{II} \cdot \cos\alpha_2 \quad (4.10)$$

Po úpravě rovnic (4.9) plyne pro sílu S_I :

$$S_I = \frac{S_{II} \cdot \sin\alpha_2 + F_z \cdot \cos\beta}{\sin\alpha_1} \quad (4.11)$$

Po dosazení rovnice (4.11) do (4.10) plyne pro sílu S_{II} :

$$S_{II} = \frac{F_z \cdot \left(\sin\beta - \frac{\cos\beta \cdot \cos\alpha_1}{\sin\alpha_1} \right)}{\left(\frac{\sin\alpha_2 \cdot \cos\alpha_1}{\sin\alpha_1} + \cos\alpha_2 \right)} = \frac{679,7 \cdot \left(\sin 30 - \frac{\cos 30 \cdot \cos 20}{\sin 20} \right)}{\left(\frac{\sin 15 \cdot \cos 20}{\sin 20} + \cos 15 \right)} = -761,7 \text{ N}$$

Protože síla S_{II} je největší za klidu, beru v úvahu, že úhel $\beta = 0^\circ$ a tahová síla se rovná tíhovému.

Pak po úpravě $S_{II} = -964,3 \text{ N}$

Po dosazení síly S_{II} za pohybu do rovnice (4.11) plyne pro sílu S_I :

$$S_I = \frac{S_{II} \cdot \sin\alpha_2 + F_z \cdot \cos\beta}{\sin\alpha_1} = \frac{-761,7 \cdot \sin 15 + 679,7 \cdot \cos 30}{\sin 20} = 1144,6 \text{ N}$$

Protože jsou ramena uložena kloubově, nepřenášejí ohybová napětí, proto se jejich průřez určuje pouze z tlakového/tahového namáhání.

$$\sigma_{tD} = \frac{F}{A} = \frac{Re}{k_s} \quad (4.12)$$

Pro plochu kruhového průřezu plyne:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (4.13)$$

Kde bezpečnost k_s volím 8 z důvodu převážení osob.

Ramena jsou zhotovena z materiálu 11 373.0

Tabulka 4.1 – Vlastnosti materiálu 11 373.0 (4)

Název	Označení	Velikost	Rozměr
Materiál	11 373.0	-	-
Mez kluzu v tahu	R _m	340	MPa
Mez pevnosti v tahu	R _e	235	MPa
Modul pružnosti v tahu	E	210 000	MPa
Napětí na mezi úměrnosti	σ _u	235	MPa

Prut I je kruhového průřezu, proto z rovnice (4.12, 4.13) a pro $F = S_I$ plyne:

$$d_I = \sqrt{\frac{4 \cdot S_I \cdot k_s}{\pi \cdot R_e}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1144,6 \cdot 8}{\pi \cdot 235}} = 7,04 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } d_I = 8 \text{ mm}$$

Volím tyč KR8 ČSN 42 5510

Prut II je z tenkostěnného uzavřeného čtvercového profilu, potom z rovnice (4.12) a pro

$F = S_{II}$ za klidu plyne:

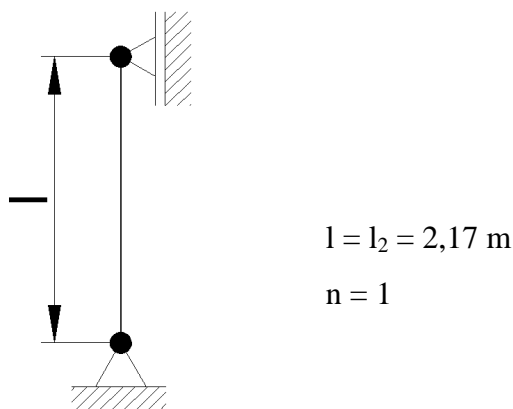
$$A_{II} = \frac{S_{II} \cdot k_s}{R_e} = \frac{964,3 \cdot 8}{235} = 32,83 \text{ mm}^2$$

Volím tyč TR 4HR 20x2 z důvodu, že na ní jsou navařeny další součásti a menší tloušťka stěny by nevyhovovala.

Protože je prut II namáhán tlakem, je potřeba provést kontrolu na vzpěr.

Tabulka 4.2 – Hodnoty pro tyč TR 4HR 20x2 (5)

Jmenovité rozměry		Plocha průřezu	Statické hodnoty pro osy ohybu	
a (mm)	t (mm)	A _I (mm ²)	J (mm ⁴)	W (mm ³)
20	2	128,7	6600	660



Obr. 4.4 – Uložení prutu II pro kontrolu na vzpěr

Minimální poloměr štiřlosti

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{J}{A_1}} \quad (4.14)$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{6600}{128,7}} = 7,2 \text{ mm}$$

Mezní štiřlost

$$\lambda_m = \pi \cdot n \sqrt{\frac{E}{\sigma_u}} \quad (4.15)$$

$$\lambda_m = \pi \cdot 1 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 93,9$$

Skutečná mezní štiřlost

$$\lambda_{sk} = \frac{L_{red}}{i_{\min}} \quad (4.16)$$

$$\lambda_{sk} = \frac{2,17 \cdot 10^3}{7,2} = 303,6$$

Redukovaná délka

$$L_{red} = \frac{l}{n} \quad (4.17)$$

$$L_{red} = \frac{2,17}{1} = 2,17 \text{ m}$$

Kritéria pro vzpěr (9)

$\lambda_m < 30 \Rightarrow$ prostý tlak

$\lambda_m < \lambda_{sk} \Rightarrow$ dle Eulera

$\lambda_m > \lambda_{sk} \Rightarrow$ dle Tetmajera

$93,9 < 303,6 \Rightarrow$ vzpěr podle Eulera

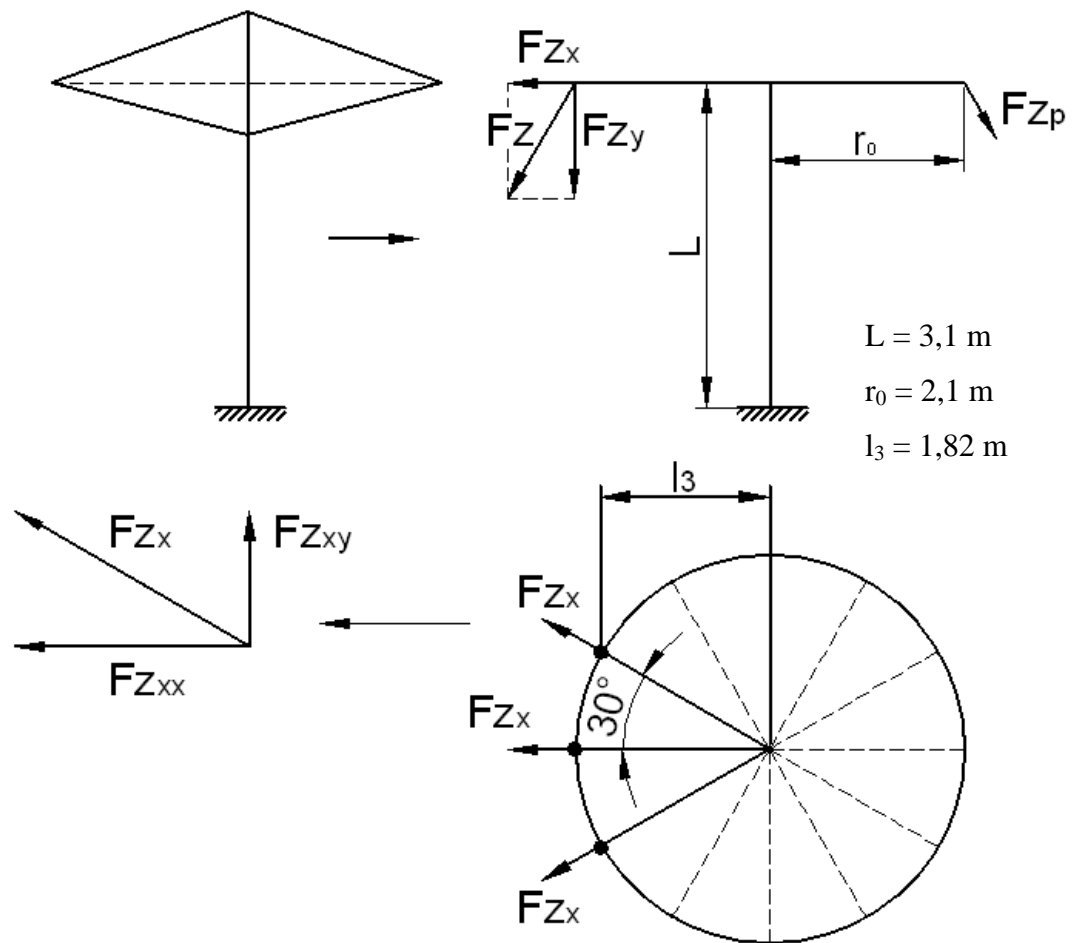
Kritická síla dle Eulera

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L_{red}^2} \quad (4.19)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 6600}{(2,17 \cdot 10^3)^2} = 2894,1 \text{ N}$$

Z výpočtu vyplývá, že síla působící na prut II je menší než kritická síla dle Eulera ($964,3 \text{ N} < 2894,1 \text{ N}$), proto nedojde ke kritickému namáhání prutu II.

4.2 VÝPOČET SIL PŮSOBÍCÍCH NA SLOUP KOLOTOČE A NÁVRH SLOUPU



Obr. 4.5 - Síly působící na sloup kolotoče

Kolotoč je osazen 12ti sedačkami. Při návrhu sloupu beru v úvahu, že při částečném zatížení jsou obsazeny maximálně 3 sedačky za sebou. Tahovou sílu prázdných sedaček neberu v úvahu, neboť se při rotaci kolotoče odečtou. Dále neberu v úvahu tíhovou sílu prázdných sedaček a ramen kolotoče, protože nezapříčiňují ohyb sloupu.

Rozklad síly F_z :

$$F_{zx} = F_z \cdot \sin\beta \quad (4.20)$$

$$F_{zx} = 679,7 \cdot \sin 30 = 339,8 \text{ N}$$

$$F_{zy} = F_z \cdot \cos\beta \quad (4.21)$$

$$F_{zy} = 679,7 \cdot \cos 30 = 588,6 \text{ N}$$

Rozklad síly F_{zx} :

$$F_{zxx} = F_{zx} \cdot \cos 30 \quad (4.22)$$

$$F_{zxx} = 339,8 \cdot \cos 30 = 294,3 \text{ N}$$

Složka síly F_{zxy} je zanedbatelná

Ohybový moment v místě vetknutí od síly F_{zy} :

$$M_{O1} = F_{zy} \cdot r_0 + 2 \cdot F_{zy} \cdot l_3 \quad (4.23)$$

$$M_{O1} = 588,6 \cdot 2,1 + 2 \cdot 588,6 \cdot 1,82 = 3377 \text{ Nm}$$

Ohybový moment v místě vetknutí od síly F_{zx} :

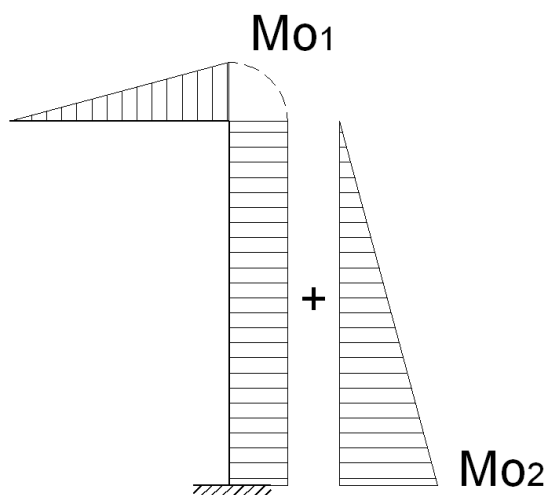
$$M_{O2} = F_{zx} \cdot L + 2 \cdot F_{zxx} \cdot L \quad (4.24)$$

$$M_{O2} = 339,8 \cdot 3,1 + 2 \cdot 294,3 \cdot 3,1 = 2878,1 \text{ Nm}$$

Výsledný ohybový moment v místě vetknutí

$$M_{Oc} = M_{O1} + M_{O2} \quad (4.25)$$

$$M_{Oc} = 3377 + 2878,1 = 6255,1 \text{ Nm}$$



Obr. 4.6 - Průběh ohybového momentu

Sloup je zhotoven z materiálu 11 353.1

Tabulka 4.3 - Vlastnosti materiálu 11 353.1 (4)

Název	Označení	Velikost	Rozměr
Materiál	11 353.1	-	-
Mez kluzu v tahu	R _m	343	MPa
Mez pevnosti v tahu	R _e	235	MPa
Modul pružnosti v tahu	E	210 000	MPa
Napětí na mezi úměrnosti	σ _u	235	MPa

Napětí v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{Re}{k_s} \quad (4.26)$$

Z rovnice (4.26) a pro $M_o = M_{oc}$ plyne pro průřezový modul v ohybu:

$$W_o = \frac{M_{oc} \cdot k_s}{Re} \quad (4.27)$$

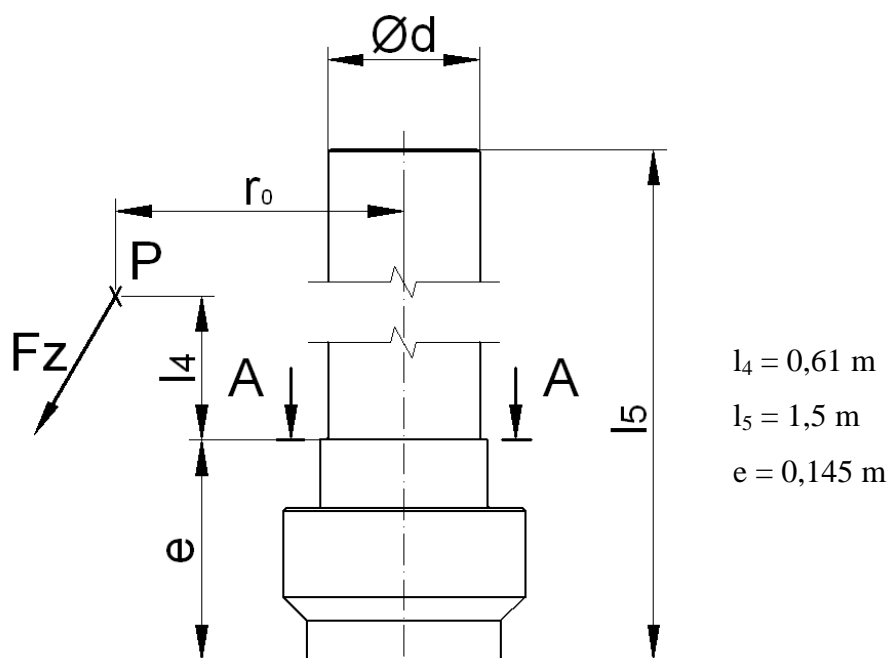
$$W_o = \frac{6255,1 \cdot 10^3 \cdot 8}{235} = 212939,8 \text{ mm}^3$$

Z vypočteného průřezového modulu v ohybu volím tyč TR KR159x15 ČSN 42 5715.01

Tabulka 4.4 - Hodnoty pro tyč TR KR159x15 ČSN 5715.01 (8)

Jmenovité rozměry		Plocha průřezu	Statické hodnoty pro osy ohybu	
D (mm)	t (mm)	$A_1 \text{ (mm}^2\text{)}$	$J \text{ (mm}^4\text{)}$	$W \text{ (mm}^3\text{)}$
159	15	6785,8	17779749,4	223644,6

Na sloupě je navařena osa, jejíž nebezpečný průřez je vyznačen řezem A – A. Bod P značí působíště tahové síly F_z .



Obr. 4.7 - Osa

Ohybový moment v místě řezu A -A od síly F_{zy} je stejný jako ohybový moment dle rovnice (4.23), proto:

$$M_{o1}' = M_{o1} = 3377 \text{ Nm}$$

Z rovnice (4.24) a pro $L = l_4$ platí pro ohyb v místě řezu A - A od síly F_{zy} :

$$M_{o2}' = 339,8 \cdot 0,61 + 2 \cdot 294,3 \cdot 0,61 = 566,3 \text{ Nm}$$

Dle rovnice (4.25) platí pro výsledný ohybový moment v místě vetknutí:

$$M_{Oc}' = 3377 + 566,3 = 3943,3 \text{ Nm}$$

Osa je zhotovena z materiálu 11 523.0

Tabulka 4.5 - Vlastnosti materiálu 11 523.0 (4)

Název	Označení	Velikost	Rozměr
Materiál	11 523.0	-	-
Mez kluzu v tahu	Rm	490	MPa
Mez pevnosti v tahu	Re	355	MPa
Modul pružnosti v tahu	E	210 000	MPa
Napětí na mezi úměrnosti	σ_u	355	MPa

Z rovnice (4.27) a pro $M_O = M_{Oc}'$, $k_{s1} = 6$ plyne pro průřezový modul v ohybu:

$$W_{O'} = \frac{3943,3 \cdot 10^3 \cdot 6}{355} = 66647,7 \text{ mm}^3$$

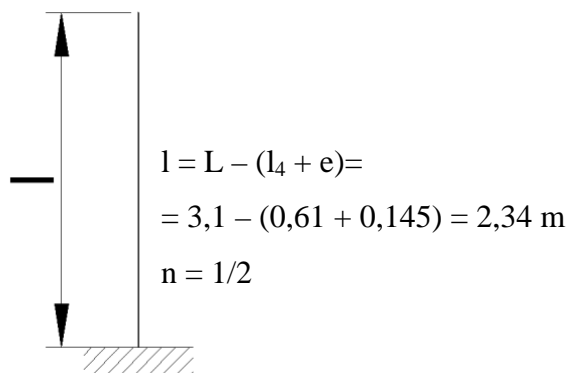
Průřezový modul v ohybu pro kruhový průřez

$$W_{O'} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad (4.28)$$

Po úpravě rovnice (4.28) plyne pro průměr osy v místě řezu A – A:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W_{O'}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 66647,7}{\pi}} = 87,9 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } d = 90 \text{ mm}$$

Sloup je potřeba zkontrolovat na vzpěr, protože na něj působí tlaková síla od plného zatížení kolotoče a od tíhy samotné konstrukce.



Obr. 4.8 - Uložení sloupu pro kontrolu na vzpěr

Z rovnice (4.14) plyne pro minimální poloměr štíhlosti:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{17779749,4}{6785,8}} = 51,2 \text{ mm}$$

Z rovnice (4.15) plyne pro mezní štíhlost:

$$\lambda_m = \pi \cdot \frac{1}{2} \sqrt{\frac{210000}{235}} = 47$$

Z rovnice (4.16) plyne pro skutečnou mezní štíhlost:

$$\lambda_{sk} = \frac{4,68 \cdot 10^3}{51,2} = 91,4$$

Z rovnice (4.17) plyne pro redukovanou délku:

$$L_{red} = \frac{2,34}{\frac{1}{2}} = 4,68 \text{ m}$$

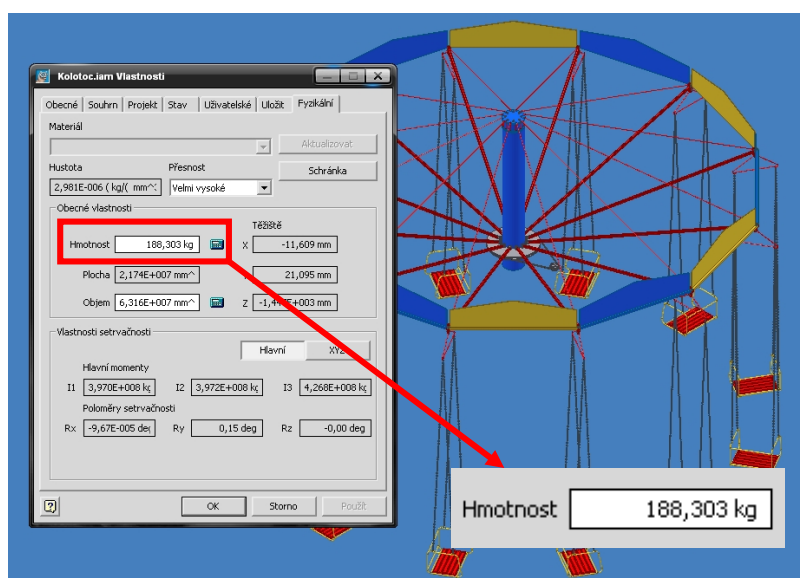
Z rovnice (4.18) plyne pro kritérium na vzpěr:

$47 < 91,4 \Rightarrow$ vzpěr podle Eulera

Z rovnice (4.19) pro kritickou sílu podle Eulera plyne:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 17779749,4}{(4,68 \cdot 10^3)^2} = 1682491,8 \text{ N}$$

Tíhová síla působící na sloup



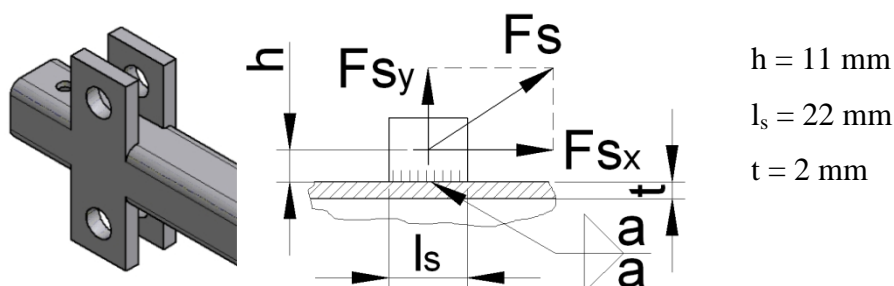
Obr. 4.9 - Hmotnost konstrukce působící na sloup dle programu Autodesk Inventor Professional 9

$$F_T = (12 \cdot m_{\text{dítě}} + m_k) \cdot g \quad (4.29)$$

$$F_T = (12 \cdot 60 + 188) \cdot 9,81 = 8907,5 \text{ N}$$

Z výpočtu vyplývá, že síla působící na sloup je menší než kritická síla dle Eulera ($8907,5 \text{ N} < 1682491,8 \text{ N}$), proto nedojde ke kritickému namáhání sloupu.

4.3 KONTROLA STĚŽEJNÍCH SVARŮ KONSTRUKCE



Obr. 4.10 - Svary na konci vyložení kolotoče

Jmenovitá napětí ve svaru

$$\tau_{\perp 1} = \frac{F_{Sy}}{2 \cdot a \cdot L_s} \quad (4.30)$$

$$\tau_{\perp 2} = \frac{F_{Sx} \cdot h}{2 \cdot \frac{a \cdot L_s^2}{6}} \quad (4.31)$$

$$\tau_{\parallel 3} = \frac{F_{Sx}}{2 \cdot a \cdot L_s} \quad (4.32)$$

Kde délka svaru:

$$L_s \approx l_s - 2 \cdot a \approx l_s - 2 \cdot 0,7 \cdot t \quad (4.33)$$

Pevnostní podmínka pro kombinované namáhání

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\left(\frac{\sum \tau_{\perp i}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\sum \tau_{\parallel i}}{k_4}\right)^2} \leq \beta_s \cdot \frac{R_e}{k_{s1}} \quad (4.34)$$

$$\beta_s = 1,3 - 0,03 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 1,3 - 0,03 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,7 \cdot t \quad (4.35)$$

Tabulka 4.6 - Převodní součinitele dle ČSN 05 0120 (1)

Čelní koutový svar	k_3	0,75
Boční koutový svar	k_4	0,65

Pak dle rovnice (4.30 - 4.33) a pro $F_s = S_I/2$ plyne pro jmenovitá napětí ve svaru:

$$\tau_{\perp 1} = \frac{572,3 \cdot \sin 35}{2 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 22 - 2 \cdot 0,7 \cdot 2} = 6,1 \text{ MPa}$$

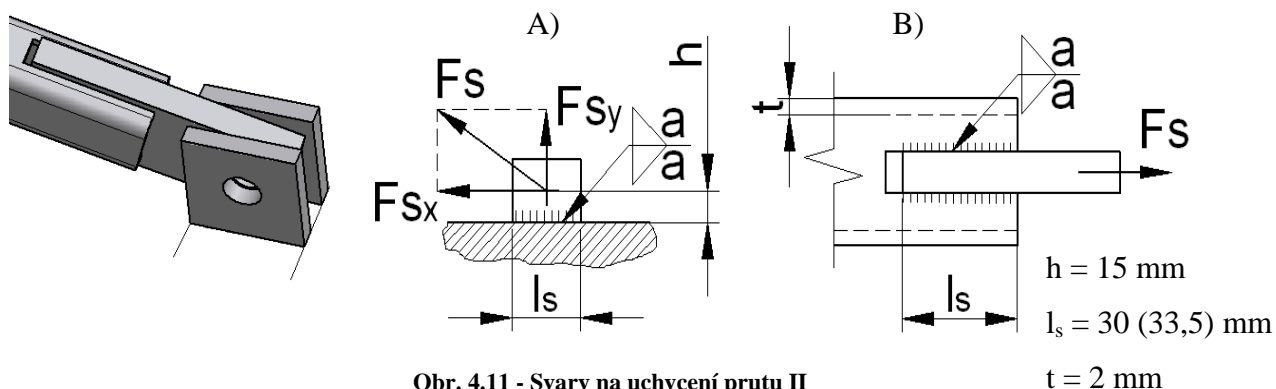
$$\tau_{\perp 2} = \frac{572,3 \cdot \cos 35 \cdot 11}{2 \cdot \frac{0,7 \cdot 2 \cdot (22 - 2 \cdot 0,7 \cdot 2)^2}{6}} = 30 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel 3} = \frac{572,3 \cdot \cos 35}{2 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 22 - 2 \cdot 0,7 \cdot 2} = 8,7 \text{ MPa}$$

Z rovnice (4.34, 4.35) a pro bezpečnost $k_{s1} = 5$ plyne pro pevnostní podmínku:

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\left(\frac{6,1 + 30}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{8,7}{0,65}\right)^2} \leq 1,3 - 0,03 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot \frac{235}{5} \rightarrow 49,9 \text{ MPa} \leq 58,3 \text{ MPa}$$

Z výpočtu plyne, že pevnostní podmínka vyhovuje. Ostatní svary dle obr 4.10 není třeba počítat, protože na ně působí menší síly.



Pak dle rovnice (4.30-4.33) a pro $F_s = S_{II}/2$ plyne dle obr 4.11 A) pro jmenovitá napětí ve svaru:

$$\tau_{\perp 1} = \frac{482,2 \cdot \sin 15}{2 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 30 - 2 \cdot 0,7 \cdot 2} = 1,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp 2} = \frac{482,2 \cdot \cos 15 \cdot 15}{2 \cdot \frac{0,7 \cdot 2 \cdot (30 - 2 \cdot 0,7 \cdot 2)^2}{6}} = 20,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel 3} = \frac{482,2 \cdot \cos 15}{2 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 30 - 2 \cdot 0,7 \cdot 2} = 6,1 \text{ MPa}$$

Z rovnice (4.34, 4.35) plyne pro pevnostní podmínku:

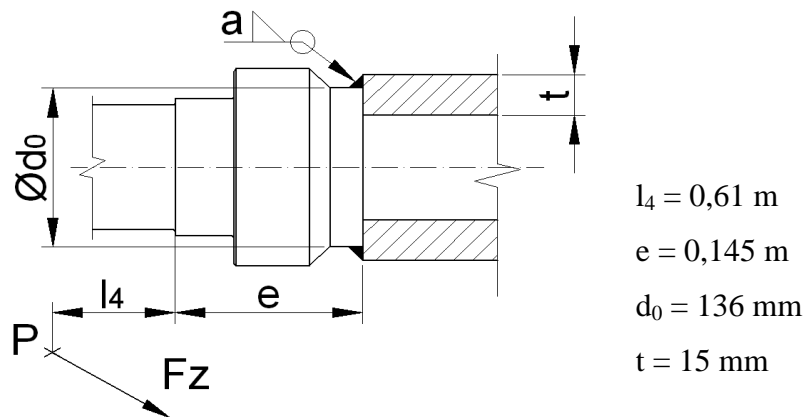
$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\left(\frac{1,6 + 20,2}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{6,1}{0,65}\right)^2} \leq 1,3 - 0,03 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot \frac{235}{5} \rightarrow 30,6 \text{ MPa} \leq 58,3 \text{ MPa}$$

Z výpočtu plyne, že pevnostní podmínka vyhovuje.

Dále pak z rovnice (4.33) a dle obr. 4.11 B) a pro $F_s = S_{II}$ plyne:

$$\tau_{||} = \frac{482,2 \cdot \cos 15}{2 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 33,5 - 2 \cdot 0,7 \cdot 2} = 5,6 \text{ MPa} \leq k_4 \cdot \frac{Re}{k_s} = 0,65 \cdot \frac{235}{5} = 30,6 \text{ MPa}$$

Z výpočtu plyne, že pevnostní podmínka vyhovuje.



Obr. 4.12 - Svar mezi sloupem a osou (otočeno o 90°)

Jmenovitá napětí ve svaru

$$\tau_{||1} = \frac{F_{zx} + 2 \cdot F_{zxx}}{\frac{\pi}{4} \cdot ((d_0 + 2 \cdot a)^2 - d_0^2)} \quad (4.36)$$

$$\tau_{\perp 2} = \frac{M_{01}}{\frac{\pi}{32} \cdot \left[\frac{(d_0 + 2 \cdot a)^4 - d_0^4}{d_0} \right]} \quad (4.37)$$

$$\tau_{\perp 3} = \frac{F_{zx} \cdot (l_4 + e) + 2 \cdot F_{zxx} \cdot (l_4 + e)}{\frac{\pi}{32} \cdot \left[\frac{(d_0 + 2 \cdot a)^4 - d_0^4}{d_0} \right]} \quad (4.38)$$

Pak dle rovnice (4.36-4.38) a pro $a = 8 \text{ mm}$ plyne dle obr 4.12 pro jmenovitá napětí ve svaru:

$$\tau_{||1} = \frac{339,8 + 2 \cdot 294,3}{\frac{\pi}{4} \cdot ((138 + 2 \cdot 8)^2 - 136^2)} = 0,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp 2} = \frac{3377 \cdot 10^3}{\frac{\pi}{32} \cdot \left[\frac{(136 + 2 \cdot 8)^4 - 136^4}{136} \right]} = 24,4 \text{ MPa}$$

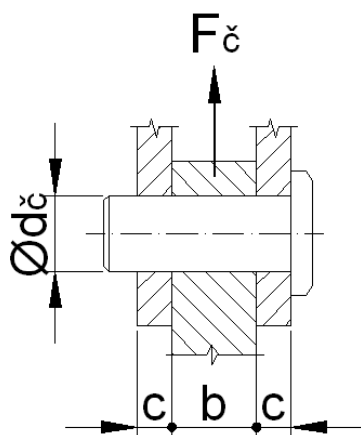
$$\tau_{\perp 3} = \frac{339,8 \cdot (0,61 + 0,145) \cdot 10^3 + 2 \cdot 294,3 \cdot (0,61 + 0,145) \cdot 10^3}{\frac{\pi}{32} \cdot \left[\frac{(136 + 2 \cdot 8)^4 - 136^4}{136} \right]} = 5,1 \text{ MPa}$$

Z rovnice (4.34, 4.35) a pro bezpečnost $k_{s1} = 5$ plyne pro pevnostní podmínku:

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\left(\frac{24,4 + 5,1}{0,75} \right)^2 + \left(\frac{0,3}{0,65} \right)^2} \leq 1,3 - 0,03 \cdot \sqrt{2} \cdot 8 \cdot \frac{235}{5} \rightarrow 39,3 \text{ MPa} \leq 45,1 \text{ MPa}$$

Z výpočtu plyne, že pevnostní podmínka vyhovuje. Svar vyhovuje i s ohledem na působení dalších sil (napínání řemene) z důvodu vysoké bezpečnosti kladené na svar.

4.4 NÁVRH ČEPŮ



Obr. 4.13 - Spojovací čep

Tabulka 4.7 - Návrh čepů (MITCalc v1.4)

			Čep 1		Čep 2		Čep 3	
Rozměry	c	b	5 mm	9 mm	5 mm	9 mm	5 mm	9 mm
Zatěžující síla	F _č		1144,6 N		964,3 N		679,7 N	
Dov. ohybové napětí	σ _{oD}		45 MPa		45 MPa		45 MPa	
Dovolený tlak	p _D		30 MPa		30 MPa		30 MPa	
Průměr čepu	d _č		10 mm		10 mm		10 mm	
Kontrola na otlačení	c	b	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Čep 1 – Uchycení prutu I
Čep 2 – Uchycení prutu II
Čep 3 – Závěs sedadla
Pozn.: OK = Vyhovuje

4.5 NÁVRH ŘETĚZU

Řetěz jsem navrhl na základě tahové síly. Předpokládám, že je rozdělena rovnoměrně do čtyř řetězů tvořící závěs sedáčky, proto:

$$F_{zr} = \frac{F_z}{4} \quad (4.39)$$

$$F_{zr} = \frac{679,7}{4} = 169,9 \text{ N}$$

Bezpečnost odpovídá hodnotě $\frac{2800}{169,9} = 16,5$

Tepelné zpracování		tepelně nezpracováno
Hmotnost 1 m		0,15 kg
Rozteč	p	14,0 mm
Vnější šířka	b	11 mm
Jmenovitá tloušťka	d	3 mm
Informativní zatížení na mezi pevnosti		2,8 kN
Mezní úchylka tloušťky		±4 %
Povrch		pozinkovaný-na cívce

Obr. 4.14 - Parametry zvoleného článkového řetězu dle ČSN 02 3271.01 (8)

5 NÁVRH POHONU A OTOČNÉ ČÁSTI KOLOTOČE

Pro pohon kolotoče volím elektromotor s vestavěnou převodovkou a přenos točivého momentu z pohonné jednotky na samotný kolotoč je zajištěn řemenovým převodem.

5.1 URČENÍ ROZBĚHOVÉHO MOMENTU A VOLBA ELEKTROMOTORU

Jak bylo řečeno výše, provoz kolotoče probíhá při vychýlení sedačky od svislé roviny kolotoče o úhel $\beta = 20^\circ$. Této hodnotě odpovídá úhlová rychlost kolotoče $\omega = 1,106 \text{ rad/s}$ a otáčky kolotoče $n_3 = 10,6 \text{ ot/min}$.

$$M_R = I_c \cdot \varepsilon \quad (5.1)$$

Pro úhlové zrychlení platí vztah:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} \quad (5.2)$$

Dle programu Autodesk Inventor Professional 9 je hlavní moment setrvačnosti (hmotnosti)

$I_c = 3636 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, doba rozběhu na požadované otáčky $t = 5 \text{ s}$. Pak z rovnice (5.1, 5.2) plyne:

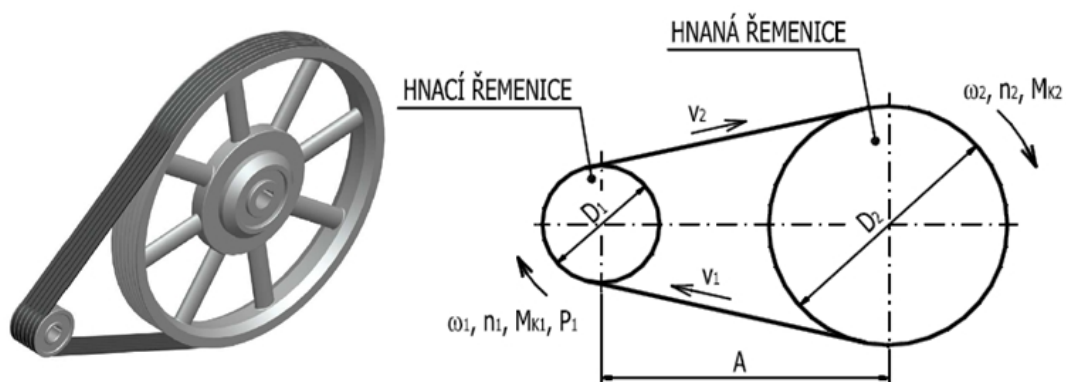
$$M_R = I_c \cdot \frac{\omega}{t} = 3636 \cdot \frac{1,106}{5} = 804,5 \text{ Nm}$$

Pro tento rozběhový moment volím elektromotor čelní koaxiální s převodovkou firmy Varvel řady MRD22 s těmito parametry:

Tabulka 5.1 - Parametry elektromotoru s převodovkou (7)

Název	Označení	Velikost	Rozměr
Vstupní výkon	P_1	1,1	kW
Vstupní otáčky	n_1	1400	ot/min
Výstupní otáčky	n_2	67	ot/min
Maximální výstupní moment	T_2	150	Nm
Hmotnost	m	19,9	kg

5.2 NÁVRH A VÝPOČET ŘEMENOVÉHO PŘEVODU



Obr. 5.1 - Schéma řemenového převodu (2)

Pro přenos výkonu z hnací řemenice na hnanou volím řemen typu B.

V závislosti na velikosti klasického průřezu řemene jsou výpočtové průměry řemenic určeny dle ČSN 02 3179.

Pro řemen průřezu B volím průměr hnací řemenice $D_1 = 125 \text{ mm}$.

Průměr hnané řemenice pro převodový poměr $i = 6,3 \pm \Delta i = 5\%$

$$D_2 = D_1 \cdot i \quad (5.3)$$

$$D_2 = 125 \cdot 6,3 = 787,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{volím } D_2 = 750 \text{ mm}$$

Obvodová rychlost

$$v_1 = \frac{D_1 \cdot \pi \cdot n_2}{60000} \quad (5.4)$$

$$v_1 = \frac{125 \cdot \pi \cdot 67}{60000} = 0,4 \text{ m/s}$$

Pro tuto obvodovou rychlost volím řemen typu INDUSTRIAL

Podmínka zadané tolerance skutečného převodového poměru:

$$i \cdot \left(1 - \frac{\Delta i}{100}\right) \leq i_{sk} \leq i \cdot \left(1 + \frac{\Delta i}{100}\right) \quad (5.5)$$

Skutečný převodový poměr, kde skluz volím $s = 0,02$ dle (2) pro řemen typu industrial

$$i_{sk} = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - s)} \quad (5.6)$$

$$i_{sk} = \frac{750}{125 \cdot (1 - 0,02)} = 6,12$$

Pak z rovnice (5.5) pro podmínku zadané tolerance převodového poměru:

$$6,3 \cdot \left(1 - \frac{5}{100}\right) \leq 6,12 \leq 6,3 \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right) \rightarrow 5,96 \leq 6,12 \leq 6,62 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Návrh osové vzdálenosti

$$A' = \frac{D_1 + D_2}{2} + 150 = \frac{125 + 750}{2} + 150 = 587,5 \text{ mm}$$

Určení délky řemene pro úhly opásání $\alpha = 115,7^\circ$, $\delta = 244,3^\circ$

$$L_p = 2 \cdot A' \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \pi \cdot D_1 \cdot \frac{\alpha}{360} + \pi \cdot D_2 \cdot \frac{\delta}{360} \quad (5.7)$$

$$L_p = 2 \cdot 587,5 \cdot \sin \frac{115,7}{2} + \pi \cdot 125 \cdot \frac{115,7}{360} + \pi \cdot 750 \cdot \frac{244,3}{360} = 2720 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } L_p = 2800 \text{ mm}$$

Skutečná osová vzdálenost pro doplňkový úhel $\gamma = 32,1^\circ$

$$A_{sk} = \frac{1,04 \cdot L_p - \frac{\pi}{2} \cdot (D_1 + D_2) - \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (D_2 - D_1)}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (5.8)$$

$$A_{sk} = \frac{1,04 \cdot 2800 - \frac{\pi}{2} \cdot (125 + 750) - \frac{\pi \cdot 32,1}{180} \cdot (750 - 125)}{2 \cdot \sin \frac{115,7}{2}} = 700,9 \text{ mm}$$

Stanovení potřebného počtu řemenů

$$K = \frac{P_1}{N_P \cdot C_K} \quad (5.9)$$

$$N_P = N_0 \cdot \frac{C_\alpha \cdot C_L}{C_P} \quad (5.10)$$

Tabulka 5.2 - Hodnoty pro klínový řemen B – 2800 ČSN 02 3110 (5)

C_α	C_L	C_P	C_K	N_0
0,82	1,05	1,2	0,95	0,55

Pak z rovnic (5.9, 5.10) plyne pro potřebný počet řemenů:

$$K = \frac{P_1}{N_0 \cdot \frac{C_\alpha \cdot C_L}{C_P} \cdot C_K} = \frac{1,1}{0,55 \cdot \frac{0,82 \cdot 1,05}{1,2} \cdot 0,95} = 2,9 \Rightarrow \text{volím 3 řemeny}$$

Předpětí řemene pro součinitel tření v klínové drážce $f_k = 1,2$ a pro bezpečnost proti prokluzu $k = 1,5$ dle (2)

$$F_0 = k \cdot \frac{T_2}{D_1} \cdot \frac{e^{\alpha \cdot f_k} + 1}{e^{\alpha \cdot f_k} - 1} \quad (5.11)$$

$$F_0 = 1,5 \cdot \frac{150 \cdot 10^3}{125} \cdot \frac{e^{2 \cdot 1,2} + 1}{e^{2 \cdot 1,2} - 1} = 2138,4 \text{ N}$$

Z důvodu nutného napnutí řemene k dosažení potřebného předpětí a snadné montáže a demontáže řemene je třeba zajistit měnitelnost osové vzdálenosti v těchto rozmezích:

$$A_{\min} = A_{sk} - 0,015 \cdot L_p = 700,9 - 0,015 \cdot 2800 = 658,9 \text{ mm}$$

$$A_{\max} = A_{sk} + 0,030 \cdot L_p = 700,9 + 0,030 \cdot 2800 = 784,9 \text{ mm}$$

5.3 SKUTEČNÉ POMĚRY NA HNANÉ HŘÍDELI

Skutečný točivý moment na hnané hřídeli

$$T_{sk} = T_2 \cdot i_{sk} \cdot \eta \quad (5.12)$$

$$T_{sk} = 150 \cdot 6,12 \cdot 0,95 = 872,1 \text{ Nm}$$

Obvodová síla na hnané řemenici

$$F = \frac{2 \cdot T_{sk}}{D_2} \quad (5.13)$$

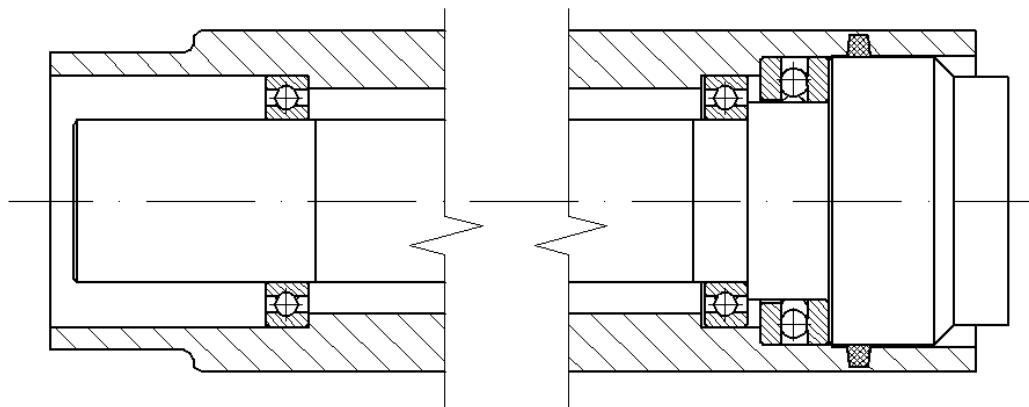
$$F = \frac{2 \cdot 872,1 \cdot 10^3}{750} = 2325,6 \text{ N}$$

5.4 VÝPOČET TRVANLIVOST LOŽISEK

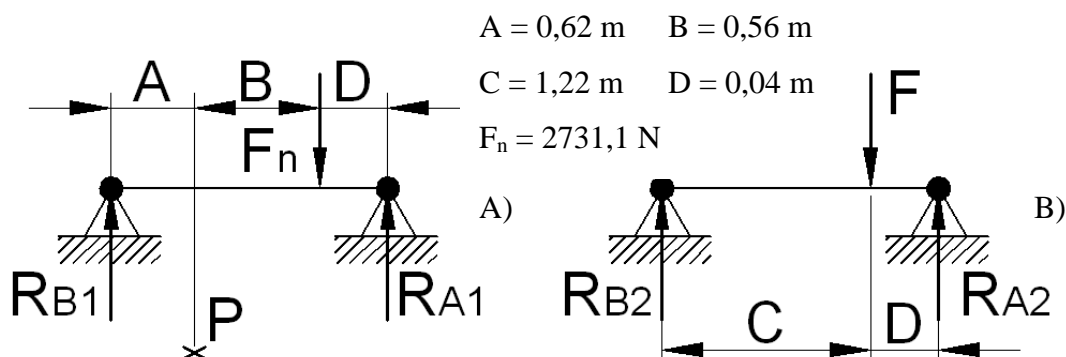
Ložiska zachycující radiální síly jsou kuličková jednořadá s těsněním -*6018-2RS1 dle (6).

Ložisko zachycující axiální síly je kuličkové axiální jednosměrné – 51 222 dle (6).

Radiální ložiska jsou uložena axiálně volně, aby veškerou axiální sílu zachycovalo ložisko axiální. Je použito mazivo klasifikace ISO VG 680 - PARAMO PP 44 dle (12).



Obr. 5.2 – Otočné uložení kolotoče (otočeno o 90°)



Obr. 5.3 – Zatížení radiálních ložisek - A) částečné zatížení tahovou silou a napnutím řemene, B) zatížení obvodovou silou hnané řemenice

Radiální reakce dle obr. 5.3 A) v podpoře A

$$R_{A1} = \frac{(F_{zx} + 2 \cdot F_{zxx}) \cdot A - (F_{zy} \cdot r_0 + 2 \cdot F_{zy} \cdot l_3) + F_n \cdot (A + B)}{A + B + D} \quad (5.14)$$

$$R_{A1} = \frac{(339,8 + 2 \cdot 294,3) \cdot 0,62 - (588,6 \cdot 2,1 + 2 \cdot 588,6 \cdot 1,82) + 2731,1 \cdot (0,62 + 0,56)}{0,62 + 0,56 + 0,04}$$

$$= 345,4 \text{ N}$$

Radiální reakce dle obr. 5.3 A) v podpoře B

$$R_{B1} = \frac{(F_{zx} + 2 \cdot F_{zxx}) \cdot (B + D) + (F_{zy} \cdot r_0 + 2 \cdot F_{zy} \cdot l_3) + F_n \cdot D}{A + B + D} \quad (5.15)$$

$$R_{B1} = \frac{(339,8 + 2 \cdot 294,3) \cdot (0,6 + 0,04) - (588,6 \cdot 2,1 + 2 \cdot 588,6 \cdot 1,82) + 2731,1 \cdot 0,04}{0,62 + 0,56 + 0,04}$$

$$= 3314,2 \text{ N}$$

Radiální reakce dle obr. 5.3 B) v podpoře A

$$R_{A2} = \frac{F \cdot C}{C + D} \quad (5.16)$$

$$R_{A2} = \frac{2325,6 \cdot 1,22}{1,22 + 0,04} = 2251,8 \text{ N}$$

Radiální reakce dle obr. 5.3 B) v podpoře B

$$R_{B2} = \frac{F \cdot D}{C + D} \quad (5.17)$$

$$R_{B2} = \frac{2325,6 \cdot 0,04}{1,22 + 0,04} = 73,8 \text{ N}$$

Výsledná radiální reakce v podpoře A

$$R_A = \sqrt{R_{A1}^2 + R_{A2}^2} = \sqrt{345,4^2 + 2251,8^2} = 2278,1 \text{ N}$$

Výsledná radiální reakce v podpoře B

$$R_B = \sqrt{R_{B1}^2 + R_{B2}^2} = \sqrt{3214,2^2 + 73,8^2} = 3315 \text{ N}$$

Na axiální ložisko působí největší zatížení při plném obsazení kolotoče $F_T = 8907,5 \text{ N} = P$

Tabulka 5.3 – Hodnoty pro ložiska dle katalogu SKF (6)

Označení	Základní dynamická únosnost C	Základní statická únosnost C ₀	Mezní únavové zatížení P _U
	kN	kN	kN
*6018 – 2RS1	60,5	50	1,96
51 222	130	390	12,5

Protože jsou ložiska v obou podporách stejná, beru pro další výpočet ekvivalentní zatížení v podpoře B ($P = 3315 \text{ N}$). Ložiska se kontrolují dynamicky, neboť otáčky jsou vyšší než 10 ot/min dle kritéria podle (3).

Základní trvanlivost ložiska v milionech otáček (při 90% spolehlivosti) dle ISO 281:119

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (5.18)$$

Trvanlivost v provozních hodinách

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n_3} \quad (5.19)$$

Základní trvanlivost dle katalogu SKF

$$L_{10mn} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10} \quad (5.20)$$

Trvanlivost v provozních hodinách dle katalogu SKF

$$L_{10hmn} = \frac{10^6 \cdot L_{10mn}}{60 \cdot n_3} \quad (5.21)$$

Pak z rovnic (5.18-5.21) a pro $a_{SKF} = 0,4$, $a_1 = 1$ plyne pro trvanlivost ložiska *6018-2RS1:

$$L_{10} = \left(\frac{60,5 \cdot 10^3}{3315} \right)^3 = 6078,8 \text{ mil. ot.}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot 6078,8}{60 \cdot 10,6} = 9590275 \text{ hod}$$

$$L_{10mn} = 1 \cdot 0,4 \cdot 6078,8 = 2431,5 \text{ mil. ot.}$$

$$L_{10hmn} = \frac{10^6 \cdot 1451,2}{60 \cdot 10,6} = 3836110 \text{ hod}$$

Z rovnic (5.18-5.21) a pro $a_{SKF} = 0,4$, $a_1=1$, $P = 8907,5 \text{ N}$ plyne pro trvanlivost ložiska 51 222:

$$L_{10} = \left(\frac{130 \cdot 10^3}{8907,5} \right)^3 = 3108,6 \text{ mil. ot.}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6 \cdot 3108,6}{60 \cdot 10,6} = 4904282,8 \text{ hod}$$

$$L_{10mn} = 1 \cdot 0,4 \cdot 3108,6 = 1243,3 \text{ mil. ot.}$$

$$L_{10hmn} = \frac{10^6 \cdot 18678,4}{60 \cdot 10,6} = 1961713,1 \text{ hod}$$

6 ZÁVĚR

Výsledkem této práce je dětský kolotoč s elektropohonem pro děti do 10ti let. Celé zařízení je značně předimenzováno z důvodu bezpečnosti. Výpočet nosné konstrukce je zjednodušen a prováděn se základními znalostmi konstruování a dimenzování.

Celý kolotoč je velice dobře skladný a snadno rozebíratelný. Pro rozebrání kvůli převozu není třeba použít žádné speciální nářadí. Celková hmotnost kolotoče činí 477,5 kg a nejtěžší část kolotoče nepřesáhne hmotnost 300 kg.

Na nosnou konstrukci jsou použity výhradně normalizované polotovary. Pro instalaci kolotoče k betonovému základu je použito 16ti kotevních šroubů M18 o pevnostní třídě 8.8, kontrola provedena dle (Příloha E). Celá nosná konstrukce je natřena základním antikorozním nátěrem UMW Korrosionsschutz LF 1200 (11), dále pak barvami na kov různých odstínů dle uvážení.

BEZPEČNOSTNÍ POKYNY K PROVOZU

- Základnu kolotoče při instalaci vždy pevně upevnit k podkladu a zajistit rovnováhu,
- zkontrolovat dostatečné napnutí řemene,
- zkontrolovat množství maziva použitého pro mazání axiálního ložiska,
- zkontrolovat pojištění všech vyměnitelných úchytů (čepy, šrouby),
- zajistit bezpečný přívod elektrické energie k elektromotoru,
- zajistit symetrické zatížení kolotoče při obsazování dětmi (v případě částečného obsazení kolotoče mohou sedět maximálně 3 děti za sebou – nedoporučuje se),
- před zahájením jízdy musí být všechny děti jištěny pojistným řetízkem,
- při provozu je potřeba vymezit bezpečný prostor okolo kolotoče (min. 3,5m),
- dohlédnout, aby při provozu nikdo nevkročil do vymezeného prostoru,
- při nepříznivých povětrnostních podmínkách kolotoč odstavit, odpojit el. proud a zakrýt elektromotor plachtou.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1) Květoslav Kaláb: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, části spojovací*, VŠB-TUO, Ostrava 2007, ISBN 978 – 80 – 248 – 1290 – 8
- 2) Květoslav Kaláb: *Návrh a výpočet řemenového převodu*, vysokoškolská příručka, VŠB-TUO, Ostrava 2008
- 3) Květoslav Kaláb: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, části pohonů strojů*, VŠB-TUO, Ostrava 2008, ISBN 978 – 80 – 248 – 1860 – 3
- 4) Rudolf Kříž, Josef Trčka: *Tabulky materiálů pro strojírenství 1*, MONTANEX, Ostrava 1999, ISBN 80 – 85780 – 92 – 5
- 5) Jan Leinveber, Pavel Vávra: *Strojnické tabulky*, Albra, Úvaly 2003, ISBN 80 – 86490 – 74 – 2
- 6) Katalog ložisek SKF. Dostupné z WWW: <http://www.skf.com/> (citováno duben 03, 2010).
- 7) Elektropohony, převodovky. Dostupné z WWW: <http://www.epo.cz> (citováno březen 26, 2010).
- 8) Velkoobchod s hutním materiálem. Dostupné z WWW: <http://www.ferona.cz> (citováno březen 17, 2010).
- 9) Zajíček, M.; Adámek, V. Vzpěr přímých prutů. Dostupné z WWW: <http://www.kme.zcu.cz/kmet/pp2/vzper-primych-prutu/shrnuti.pdf> (citováno březen 22, 2010).
- 10) Definice kolotoče. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kolotoč> (citováno březen 04, 2010).
- 11) Barvy, nátěry. Dostupné z WWW: <http://www.meffert.cz> (citováno duben 04, 2010).
- 12) Maziva. Dostupné z WWW: <http://paramo.cz/cs/> (citováno duben 03, 2010).
- 13) Pružinové houpačky a kolotoče. Dostupné z WWW: <http://www.detskahriste.eu/pruziny.html> (citováno březen 03, 2010).
- 14) How carousel is made. Dostupné z WWW: <http://www.madehow.com/> (citováno březen 03, 2010).
- 15) Abyho blogovinky. Dostupné z WWW: <http://jakub.tucnacek.cz/blog/> (citováno březen 03, 2010).

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	1 – MAL – 000 – S
Příloha B	3 – MAL – 002
Příloha C	Hmotnost dítěte
Příloha D	Kontrola závěsu sedadla
Příloha E	Statická kontrola kotevních šroubů